

^{119}Sn 核共鳴散乱法を用いた金属ナノ薄膜における局所電子 スピン分極の検出

Detection of Local Electron-Spin Polarization in Metallic Thin Films using ^{119}Sn Nuclear Resonant Scattering

壬生 攻¹、大塚祐平^{1,2}、増田 亮^{3,2}、小林康浩³、瀬戸 誠³、三井隆也⁴

*K. Mibu¹, Y. Otsuka^{1,2}, R. Masuda^{2,3}, Y. Kobayashi³, M. Seto³, T. Mitsui⁴

¹ 京都大学低温物質科学研究センター、

² 京都大学大学院理学研究科、³ 京都大学原子炉実験所、

⁴ 日本原子力研究所

¹Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University,

²Graduate School of Science, Kyoto University, ³Research Reactor Institute, Kyoto University,

⁴Japan Atomic Energy Research Institute

金属ナノ薄膜やナノ構造体における電子スピン分極の局所的検出を目的に、 ^{119}Sn 核共鳴散乱実験の条件最適化を行った。超高分解能 Si モノクロメータにより数 meV 幅まで単色化された 23.88 keV (^{119}Sn 核メスバウアー遷移エネルギー) の放射光 X 線を、電子スピン分極の探針となる ^{119}Sn を含む多層膜試料に入射し、 ^{119}Sn 核によって共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定した。Sn(1.0 nm) 層を Cr(4.0 nm) 層の上に配した MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) と Cr 層の下に強磁性の Fe(5.0 nm) 層を敷いた MgO/Fe(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) の時間スペクトルの間にわずかな違いが見出され、下地の強磁性 Fe 層の影響を受けて Cr の磁気構造が変化し、Sn 核位置での電子スピン分極が変化していることを示唆する結果が得られた。

In order to detect electron spin-polarization in metallic thin films and nanostructures, ^{119}Sn nuclear resonant scattering measurements were performed at BL11XU. X-ray beams corresponding to the Mössbauer transition energy of 23.88 keV were monochromatized into a width of several meV with a Si monochromator and injected to multilayered samples containing a ^{119}Sn layer as a probe layer. The time spectra of X-rays resonantly scattered from the ^{119}Sn nuclei were successfully obtained for MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) and MgO/Fe(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm). It was found that the beat patterns of these spectra are slightly different, suggesting that the magnetic structure of Cr is changed by the existence of the underlaid ferromagnetic Fe layer.

背景と研究目的

ナノメートルサイズの磁性薄膜や磁性構造体における局所的な電子スピン分極に関する実験データは、磁性体ナノテクノロジーやスピントロニクスさらなる発展のために重要な情報となりうる。本課題実験責任者の研究グループでは、非磁性元素である Sn の単原子層をドーブした金属薄膜に ^{119}Sn メスバウアー分光法（線源実験）を適用し、試料内に誘起された電子スピン分極を探る研究を進めてきた [1,2]。Sn 原子核をとりまく電子系にスピン分極が生じれば、超微細相互作用を通じて原子核位置に内部磁場（hyperfine field）が誘起され、核エネルギー準位が分裂する。分裂の程度は原子核によるガンマ線吸収スペクトル（メスバウアースペクトル）に反映されるので、スペクトルを解析することによって、スピン分極に関する局所的な情報が与えられる。このような研究をさらに発展させ、特殊環境下や非平衡状態でのナノ構造体のスピン分極を探究していくための手段として、放射光を用いた核共鳴散乱実験が 2004A 期より試みられ、2005A 期に第 3 期目の実験が行われるに至っている。

実験

今回のビームタイムでは、体心立方構造の (001) 方向に成長させた Cr(4.0 nm) 薄膜上に 1.0 nm（約 6 原子層）の Sn 層を積層した構造をもつ MgO/ Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) と、Cr の下に強磁性 Fe(5.0 nm) 層を敷いた MgO/Fe(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) の Sn 核位置における電子スピン分極の測定を試みた。 ^{119}Sn 核の共鳴エネルギー（23.88 keV）に合わせたアンジュレーター放射光を、Si(777)×Si(777) チャ

ンネルカットモノクロメータを用いてバンド幅数 meV 程度に絞ったのち試料に入射し、試料による核共鳴散乱時間スペクトルをアバランシェ・フォトダイオード（APD）検出器を用いて測定した。試料最表面にわずかな原子層程度蒸着された ^{119}Sn 核によって入射 X 線を効率的に共鳴散乱させるために、薄膜面すれすれ入射の全反射配置での測定を行った。X 線パルス入射直後から次のパルスが入射される直前まで（今回の運転モードではバンチ間隔 57 ns）の散乱強度を時間に対して積算することによって、 ^{119}Sn 核に共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定し、そこから ^{119}Sn 核が有効に感じている内部磁場を求め、Sn サイトにおける電子のスピン分極に関する情報を得ることを目指した。液体窒素フロー型小型クライオスタットを用いて試料を冷却し、約 -190℃ で測定を行った。

結果および今後の課題

前回 2004B 期には、それまで世界で報告例がなかった薄膜・ナノ構造試料の ^{119}Sn 核共鳴散乱時間スペクトルの測定に成功した。今回は、モノクロメータの構成、X 線入射角、試料の構成、検出器などに関してさらなる最適化を行い、信号強度の向上を目指した。とりわけ検出器として 8 素子 APD 検出器を用い、検出効率の向上を試みた。実験の結果得られた MgO/Cr/Sn および MgO/Fe/Cr/Sn の核共鳴弾性散乱時間スペクトルを Fig. 1 に示す。両試料のスペクトルパターンにはわずかながら違いが見られ、下地の強磁性 Fe 層の存在により Cr の磁気構造が変化し、Sn 核位置での電子スピン分極が変化していることが示唆されている。

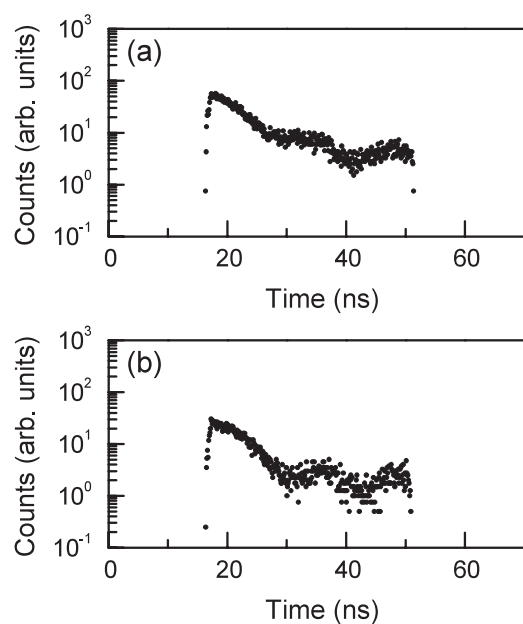


Fig.1 Time spectra of ^{119}Sn nuclear resonant scattering from (a) MgO/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm) and (b) MgO/Fe(5.0 nm)/Cr(4.0 nm)/Sn(1.0 nm).

今回用いた試料における ^{119}Sn 層の厚さは前回と同様 1.0 nm と厚く、界面で Cr 層と接している Sn 原子の割合は Sn 全体の約 1/6 である。前回と比較して信号強度の増大がみられたものの、今後この手法をナノ構造体の磁性研究に広く展開していくためには、Sn 層を単原子層程度まで薄くすることが要求される。更なる検出効率の向上が、次回 2005B 期のビームタイムでの重要課題となっている。

参考文献

- [1] Mibu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 2243.
- [2] Mibu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 287202.